

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES  
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
13. März 2003 (13.03.2003)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
**WO 03/021680 A2**

(51) Internationale Patentklassifikation<sup>7</sup>: **H01L 25/07**

(72) Erfinder; und

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP02/09457

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **STOLZE, Thilo**  
[DE/DE]; Am Hellefelder Bach 15, 59821 Arnsberg (DE).

(22) Internationales Anmeldedatum:  
23. August 2002 (23.08.2002)

(74) Anwalt: **SCHMUCKERMAIER, Bernhard**; Westphal,  
Mussnug & Partner, Mozartstrasse 8, D-80336 München  
(DE).

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(81) Bestimmungsstaaten (national): CN, DE, JP, US.

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

Veröffentlicht:

(30) Angaben zur Priorität:  
101 42 971.1 1. September 2001 (01.09.2001) DE

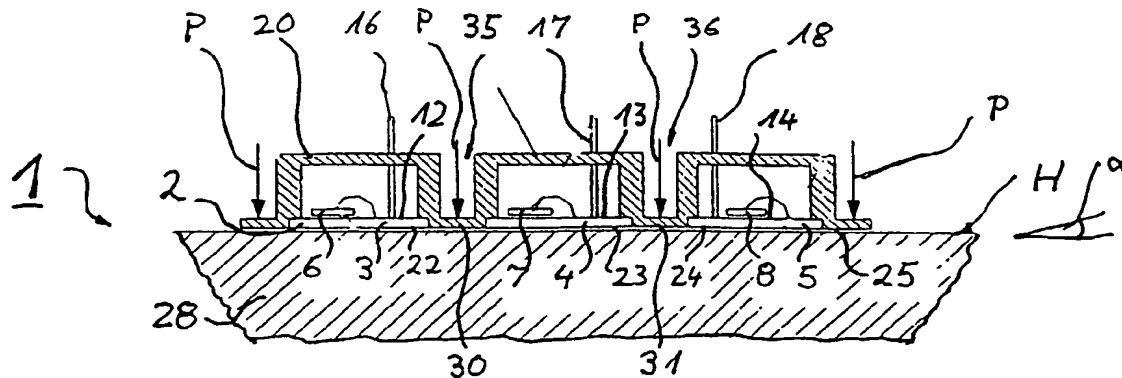
— ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu  
veröffentlichen nach Erhalt des Berichts

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von  
US): **EUPEC GMBH** [DE/DE]; Max-Planck-Str.5, 59581  
Warstein (DE).

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen  
Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on  
Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe  
der PCT-Gazette verwiesen.

(54) Title: POWER SEMICONDUCTOR MODULE

(54) Bezeichnung: LEISTUNGSHALBLEITERMODUL



(57) Abstract: The power semiconductor module (1) comprises several semiconductor components (6, 7, 8), located on a substrate (2). The aim of the invention is to prevent a reduction in the pressure of the substrate against a cooling surface and the resulting loss of cooling arising from deformations. Said aim is achieved, whereby the substrate (2) comprises several substrate regions (3, 4, 5), with one or several connection regions (31, 32), located between substrate regions (3, 4, 5), by means of which the substrate regions (3, 4, 5) are connected such as to move relative to each other.

(57) Zusammenfassung: Das Leistungshalbleitermodul (1) umfasst mehrere Halbleiterbauelemente (6, 7, 8), die sich auf einem Substrat (2) befinden. Um einen infolge von Deformationen auftretenden Abnahme des Drucks des Substrats gegen eine Kühlfläche und somit eine Abnahme der Kühlung des Substrats zu verhindern, ist vorgesehen, dass das Substrat (2) mehrere Substratbereiche (3, 4, 5) aufweist und dass sich zwischen Substratbereichen (3, 4, 5) ein oder mehrere Verbindungsbereiche (31, 32) befinden, über die die Substratbereiche (3, 4, 5) relativ-beweglich zueinander verbunden sind.

WO 03/021680 A2

## Beschreibung

## Leistungshalbleitermodul

- 5 Die Erfindung betrifft ein Leistungshalbleitermodul mit mehreren Halbleiterbauelementen, die sich auf einem Substrat befinden.

Derartige Module sind beispielsweise aus der DE 39 06 690 A1,  
10 DE 199 42 915 A1, DE 197 07 514 A1 und JP 2001118987 bekannt.

Bei einem beispielsweise aus der DE 199 42 915 A1 hervorgehenden Leistungshalbleitermodul sind auf der Oberseite eines isolierenden und thermisch leitenden Trägers (Substrat) mehrere Leistungshalbleiter in einer Reihe eng benachbart angeordnet. Diese sind über auf derselben Oberseite ausgebildete  
15 metallische Leiterbahnen mittels Kontaktflächen elektrisch verbunden und auf diesem Wege ansteuerbar.

20 Die ebenfalls metallische, beispielsweise kupferbeschichtete, Unterseite des Substrats wird durch elektrisch leitende Druckstücke auf einen Kühlkörper gepresst. Darüber werden die bei Betrieb des Leistungshalbleitermoduls in Form von Wärme auftretenden Verlustleistungen abgeführt. Um eine effektive  
25 Wärmeabfuhr bzw. einen geringen Wärmeübergangswiderstand und damit einen sicheren und zuverlässigen Betrieb des Leistungshalbleitermoduls zu gewährleisten, muss der Kühlkörper flächig und spaltfrei an der Substratunterseite anliegen.

30 Problematisch sind dabei die durch unterschiedliche Wärmeausdehnungskoeffizienten und geringe Biegesteifigkeit der verschiedenen Modulkomponenten (z.B. von Substrat und Halbleitermaterial) bedingten mechanischen Spannungen innerhalb des

Moduls. Innere Spannungen können auch aus dem Hochtemperatur-Herstellungsprozess eines Leistungshalbleitermoduls resultieren und sich durch nachfolgende Lötsschritte noch verstärken.

- 5 Mechanische Spannungen und/oder die geringe Biegesteifigkeit können dabei zu unerwünschten Verformungen oder Durchbiegungen an der Substrat- bzw. Modulunterseite führen. Es ist dann eine gleichmäßig ebene Kontaktfläche nicht mehr gewährleistet, da durch die infolge der Verformungen entstehenden Zwischenräume und Luftspalte die Wärmeübertragung zwischen Kühlelement und Kühlung beeinträchtigt wird. Die genannten Effekte sind besonders dort nicht kompensierbar, wo das Substrat nicht unmittelbar oder nur unzureichend auf den Kühlkörper gedrückt wird wie beispielsweise bei Randbefestigung in der Modulmitte, da dort die Durchbiegung (Wölbung) am größten ist. Der Effekt tritt zudem umso stärker in Erscheinung, je größer das Modul ist. Die Größe des Moduls steigt wiederum mit der Leistung.
- 10
- 15
- 20 Zur Lösung dieser Problematik ist es denkbar, ein zusätzliches Metallteil - z.B. eine Kupferplatte - als Bodenplatte vorzusehen, mit der die Substratunterseite fest verbunden, z.B. verlötet, ist. Bestehende Formabweichungen würden dann durch die zwischenliegende Lötsschicht ausgeglichen. Die Bodenplatte wäre dann mit ihrer Unterseite mit dem Kühlkörper verbunden und dient sowohl einer gleichmäßigen Wärmeverteilung (als sogenannter „Heat Spreader“) als auch zur Aufnahme von mechanischen Spannungen.
- 25
- 30 Allerdings erhöht diese Konstruktion durch die zusätzliche Bodenplatte und deren Montage die Gesamtkosten eines so ausgestalteten Leistungshalbleitermoduls.

Der vorliegenden Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde,  
ein kostengünstig herstellbares Leistungshalbleitermodul mit  
einem zufriedenstellenden thermischen Kontakt zu einem Kühl-  
element zu schaffen, das ohne zusätzliche Bodenplatte aus-  
5 kommt.

Diese Aufgabe wird bei einem Leistungshalbleitermodul der  
eingangs genannten Art erfindungsgemäß dadurch gelöst, dass  
das Substrat mehrere Substratbereiche aufweist und dass sich  
10 zwischen Substratbereichen ein oder mehrere Verbindungsberei-  
che befinden, über die die Substratbereiche relativ-beweglich  
zueinander verbunden sind.

Ein wesentlicher Aspekt der vorliegenden Erfindung besteht  
15 darin, dass die Anordnung der Halbleiterbauelemente und ggf.  
weiterer Bauelemente nicht auf einem einzigen, einstückigen  
Substrat erfolgt, sondern auf mehrere Substratbereiche (Teil-  
substrate) verteilt ist. Dadurch kann jedes einzelne Teilsub-  
strat besser an die Kühlfläche angedrückt und somit besser  
20 gekühlt werden.

Darüber hinaus erfährt jedes einzelne Teilsubstrat infolge  
der zuvor beschriebenen temperaturbedingten Spannungen und  
Wärmeeffekte zwar ebenfalls eine Verformung, die aber wesent-  
25 lich geringer ist als die Verformung eines flächenentspre-  
chenden einzigen Gesamtsubstrats wäre. Mit anderen Worten:  
Die z.T. unvermeidliche Deformation wird auf mehrere Teilsub-  
strate und damit entsprechend auf kleinere Teildeformationen  
aufgeteilt, deren absolutes Verformungsmaxima wesentlich ge-  
30 ringer ist.

Substrate werden mit zunehmender Größe bruch- und beschädi-  
gungsempfindlicher. Ein Vorteil der Erfindung besteht daher

zudem darin, dass das erfindungsgemäße Leistungshalbleitermodul mit seinen mehreren individuellen Substratbereichen mechanisch wesentlich robuster ist. Dies erhöht vorteilhafterweise die Ausbeute im Fertigungs- und Montageprozess.

5

Ein weiterer Vorteil der vorliegenden Erfindung besteht darin, dass die mit Halbleiterbauelementen bestückten einzelnen Substratbereiche individuell vorab getestet und bei Defekt ersetzt werden können. Damit kann der Ausschuss an fertigen

10 Moduln kostengünstig minimiert werden.

Damit einher geht eine weitere Erhöhung der Ausbeute, weil bei fehlerhaften Substratbereichen nicht notwendigerweise das gesamte zu einem Leistungshalbleitermodul gehörende Substratmaterial, ggf. mit den bereits montierten Bauelementen, verworfen werden muss.

15

Ein weiterer wesentlicher Aspekt der Erfindung ist darin zu sehen, dass die Substratbereiche über einen oder mehrere Verbindungsgebiete relativ beweglich zueinander verbunden sind. Der jeweilige Verbindungsgebiet weist eine höhere mechanische Verformbarkeit (Elastizität) auf als das Substrat üblicherweise aufweist. Damit sind quasi Scharniere oder gelenkige Bereiche zwischen den Substratbereichen gebildet. Die Verbindungsgebiete verhindern, dass sich die Substratbereiche im angrenzenden Substratbereiche gegenseitig mechanisch beeinflussen.

20

25

An jedem Verbindungsgebiet besteht darüber hinaus die Möglichkeit, eine Korrektur in der Ausrichtung der individuellen Substratbereiche in der Weise vorzunehmen, dass sich die Deformation minimiert und sich somit eine ebene Kontaktfläche

30

des Leistungshalbleitermoduls bildet, die einen optimierten Wärmeübergang zu einem anzuschließenden Kühlkörper schafft.

Erfindungsgemäß weist das Leistungshalbleitermodul zudem ein Gehäuse auf, das im Bereich zwischen den Substratbereichen Einwirkungsstellen für eine mechanische Druckbeaufschlagung der Verbindungsbereiche hat, wobei das Gehäuse die einzelnen Substratbereiche mit Druck beaufschlagt.

10 Insbesondere durch die Einwirkungsstellen für eine mechanische Druckbeaufschlagung der Verbindungsbereiche wird eine besonders gute Wärmeleitung zu einem an der Montagefläche (Unterseite) des Leistungshalbleitermoduls anzuschließenden Kühlelement gewährleistet.

15

Dabei können die Einwirkungsstellen z.B. Senkungen im Gehäuse sein, die einen Durchgriff äußerer mechanischer Druckmittel (z.B. Spannschrauben) zur Substratebene hin ermöglichen. Es können aber auch innerhalb des Gehäuses Druckstege vorgesehen sein, die von außen auf das Gehäuse einwirkende Druckkräfte zu den Einwirkungsstellen weiterleiten.

20

Weiterhin ist erfindungsgemäß das Gehäuse insbesondere in den Abschnitten zwischen den Einwirkungsstellen für eine mechanische Druckbeaufschlagung federnd ausgeführt. Dadurch wird ein Andruck jeweils einzeln auf jedes Teilsubstrat gewährleistet, wobei die einzelnen Teilsubstrate mechanisch durch die Einwirkungsstellen (d. h. durch Schrauben, Klammern, Nieten etc.) separiert sind. Die Einwirkstellen selbst üben unmittelbar keinen Druck auf die Teilsubstrate aus.

25

30

Eine vorteilhafte Weiterbildung des erfindungsgemäßen Halbleitermoduls sieht vor, dass die Verbindungsbereiche durch

Ausnehmungen in dem Material des Substrats gebildet sind. Dies stellt eine fertigungstechnisch besonders einfache Möglichkeit dar, Verbindungsbereiche mit erhöhter Beweglichkeit oder Verformbarkeit zu schaffen. Die Ausnehmungen können beispielsweise als Perforation ausgebildet sein.

Fertigungstechnisch besonders bevorzugt ist es, wenn die Materialausnehmungen schlitzförmig sind.

- 10 Bevorzugt kann das Substrat aus Keramik bestehen. Dies erlaubt eine hervorragende elektrische Isolation der darauf montierten Halbleiterbauelemente und elektrischen Verbindungen bei guter Wärmeableitung über die Keramik zum Kühlkörper. Zwischen Substrat und Kühlkörper kann dabei eine Wärmeleit-
- 15 paste eingebracht sein.

Weiterhin ist es vorteilhaft, wenn das Gehäuse zumindest in den Bereichen der Substratbereiche derart ist, dass es mit einer Federkraft auf die Substratbereiche wirkt. Dadurch wird

20 auf jedes Teilsubstrat einzeln ein Druck ausgeübt.

Ausführungsbeispiele der Erfindung werden nachfolgend anhand einer Zeichnung näher erläutert; es zeigen schematisch:

- 25 Figur 1: ein erstes Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Leistungshalbleitermoduls im Querschnitt,  
Figur 2: das Substrat des Leistungshalbleitermoduls aus Figur 1 in Aufsicht,  
Figur 3: ein zweites Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Leistungshalbleitermoduls im Querschnitt und
- 30 Figur 4: das Substrat des Leistungshalbleitermoduls aus Figur 2 in Aufsicht.

Das in Figur 1 gezeigte Leistungshalbleitermodul 1 umfasst ein Keramik-Substrat (Trägerelement) 2, das in mehrere Substratbereiche (Teilsubstrate) 3, 4 und 5 segmentiert ist und quasi drei Segmente S aufweist (Figur 2). Auf den Substratbereichen 3, 4 und 5 sind Halbleiterbauelemente 6, 7 und 8 angeordnet, die alle Bestandteile des Gesamtmoduls 1 sind. Die Halbleiterbauelemente sind über angedeutete Bonddrähte mit nicht näher dargestellten Leiterbahnen kontaktiert, die auf der jeweiligen Oberfläche 12, 13, 14 der Teilsubstrate ausgebildet sind. Die Leiterbahnen verschiedener Teilsubstrate können miteinander über Bonddrähte elektrisch verbunden sein. Die Leiterbahnen führen zu Kontaktstiften (Anschlusspins) 16, 17, 18 zum externen Anschluss des Leistungshalbleitermoduls. Die Halbleiterbauelemente 6, 7 und 8 können Leistungshalbleiter sein, die hohe in Wärme umgesetzte Verlustleistungen entwickeln und deshalb eine effektive Wärmeableitung erfordern.

Das Halbleitermodul umfasst ferner ein federndes, d. h. ein entsprechend elastisches Modulgehäuse 20, das im Kunststoffspritzgussverfahren hergestellt ist. Die Rückseiten 22, 23, 24 der Teilsubstrate 3, 4, 5 bilden Teilflächen der Modulunterseite 25, die zum thermischen Kontakt mit einem Kühlkörper 28 möglichst eben ausgebildet ist und auf die beispielsweise mit einer Wärmeleitpaste aufgebracht ist. Zur ebenen Ausbildung dient die Verwendung mehrerer Teilsubstrate. Würde nur ein einziges Substrat verwendet, auf dem alle Halbleiterbauelemente anzuordnen wären und das dementsprechend die Gesamtmontagefläche aller Teilsubstrate aufweisen müsste, würden zum einen innere, aus schon im Herstellprozess aufgetretenen thermischen Belastungen resultierende mechanische Spannungen erheblichen Einfluss ausüben und zum anderen kein zufriedenstellender thermischer Kontakt erzielt und damit die Kühlung des Substrats sicher gestellt werden.

Bei dem erfindungsgemäßen Halbleitermodul führen diese Spannungen nur zu geringen Deformationen und Verformungen, weil sie sich auf mehrere Teilsubstrate verteilen und wegen der



geringeren absoluten Ausdehnung des individuellen Teilsubstrats jeweils nur vergleichsweise geringen Einfluss haben.

Das Substrat 2 weist neben den Substratbereichen 3, 4, und 5 zwischen den Substratbereichen ausgebildete Verbindungsbereiche 30 und 31 auf (vgl. auch Figur 2). Die Substratbereiche 3 und 4 sind z.B. über den Verbindungsbereich 30 relativ beweglich zueinander verbunden. Der Verbindungsbereich 30 fungiert quasi als Gelenk oder Scharnier, so dass die Substratbereiche 3 und 4 unter Einschluss eines von  $180^\circ$  verschiedenen Winkels (Korrekturwinkel) auch zueinander ausgerichtet werden können. Damit wird beispielsweise verhindert, dass sich eine Verformung des Substratbereichs 3 in den Substratbereich 4 fortsetzt. Ist beispielsweise der Substratbereich 3 gegenüber der Horizontalen H um einen Winkel  $\alpha$  (in Figur 1 stark vergrößert und übertrieben dargestellt) durch Verformungen infolge thermisch induzierter Spannungen verkippt, kann durch entsprechendes gegensinniges Verkippen des Substratbereichs 4 eine Fortpflanzung dieses Winkels  $\alpha$  in den Substratbereich 4 hinein vermieden und die Verkipfung durch eine gegengleiche Verkipfung sogar kompensiert werden. Damit wird eine weitestgehend von infolge thermisch induzierter Spannungen auftretenden Verformungen freie Modulunterseite 25 als Kontaktfläche des Leistungshalbleitermoduls geschaffen.

25

Die Verbindungsbereiche 30 und 31 sind nach Figur 2 beispielsweise von in das Material des Ausgangssubstrats eingebrachten Schlitzten 33, 34 gebildet. Es sind aber auch andere geometrische Formen und Ausgestaltungen der Verbindungsbereiche denkbar, die in gleicher Weise eine gegenüber dem Ausgangssubstrat erhöhte Flexibilität der Verbindungsbereiche bewirken.

30

Das Gehäuse 20 weist Zugangsbereiche 35, 36 auf, durch die z.B. durch äußere Klammern oder Verschraubungen mechanischer Druck (durch Pfeile P symbolisiert) unmittelbar auf die Verbindungsbereiche 30, 31 ausgeübt werden kann, um das Substrat

35

insgesamt homogen auf den Kühlkörper 28 zu pressen. Weiterer mechanischer Anpressdruck kann wie durch weitere Pfeile P angedeutet an Andruckpunkten AP in den Randbereichen des Leistungshalbleitermoduls aufgebracht werden.

5

Figur 3 zeigt schematisch eine Variante eines erfindungsgemäßen Leistungshalbleitermoduls 101 im Querschnitt. Danach bilden mehrere bestückte und in Figur 1 bereits ausführlich beschriebene Substratbereiche (Teilsubstrate) 103, 104, 105  
10 Segmente S eines Substrats 102 (vgl. Figur 4). Die Leiterbahnen verschiedener Teilsubstrate können miteinander über Bonddrähte 108, 109 elektrisch verbunden sein. Auch hier bilden die Unterseiten der Substratbereiche Teilflächen der Modulunterseite 125, die zum thermischen Kontakt mit einem Kühlkörper 128 eben ausgebildet ist.  
15

Verbindungsbereiche 130 und 131 sind nach Figur 4 von in das Material des Ausgangssubstrats eingebrachten Schlitten 133, 134 gebildet. Ein federndes Gehäuse 120 weist Zugangsbereiche 135, 136 auf seiner Oberseite 140 auf. Auf diese Zugangsbereiche 135, 136 z.B. durch äußere Klammern oder Verschraubungen aufgebracht mechanischer Druck (durch Pfeile P angedeutet) wird durch gehäuseinterne Stempel oder vertikale Brücken 150, 151 auf die Verbindungsbereiche 130, 131 übertragen. Da-  
20 durch wird das Substrat 101 insgesamt sehr homogen auf den Kühlkörper 128 gepresst. Weiterer mechanischer Anpressdruck kann wie durch weitere Pfeile P angedeutet an Andruckpunkten AP in den Randbereichen des Leistungshalbleitermoduls aufgebracht werden.  
25

30

Eine besondere vorteilhafte Wirkung wird also dadurch erzielt, dass ein Andruck durch das Gehäuse jeweils einzeln auf jedes Teilsubstrat ausgeübt wird, wobei die Einwirkungsstellen und die einzelnen Teilsubstrate mechanisch voneinander  
35 separiert sind. Die Einwirkstellen selbst üben also keinen unmittelbaren Druck auf die Teilsubstrate aus.

## Bezugszeichenliste:

	1	Leistungshalbleitermodul 1
	2	Keramik-Substrat
5	3, 4, 5	Substratbereiche (Teilsubstrate)
	6, 7, 8	Halbleiterbauelemente
	12, 13, 14	Oberfläche
	16, 17, 18	Kontaktstifte (Anschlusspins)
	20	Modulgehäuse
10	22, 23, 24	Rückseiten
	25	Modulunterseite
	28	Kühlkörper
	30, 31	Verbindungsbereiche
	35, 36	Zugangsbereiche
15	33, 34	Schlitze

	101	Leistungshalbleitermodul
20	102	Substrat
	103, 104, 105	Substratbereiche (Teilsubstrate)
	108, 109	Bonddrähte
	120	Gehäuse
	125	Modulunterseite
25	128	Kühlkörper
	130, 131	Verbindungsbereiche
	133, 134	Schlitze
	135, 136	Zugangsbereiche
	140	Oberseite
30	150, 151	Stempel

	S	Segment
	H	Horizontalen
35	$\alpha$	Winkel
	P	Pfeile
	AP	Andruckpunkten

## Patentansprüche

1. Leistungshalbleitermodul (1) mit mehreren Halbleiterbau-  
5 elementen (6, 7, 8), die sich auf einem Substrat (2) befinden,  
den,  
- das Substrat (2) mehrere Substratbereiche (3, 4, 5) auf-  
weist und  
- sich zwischen Substratbereichen (3, 4, 5) ein oder mehre-  
10 re Verbindungsbereiche (31, 32) befinden, über die die  
Substratbereiche (3, 4, 5) relativ-beweglich zueinander  
verbunden sind. Leistungshalbleitermodul nach Anspruch 1,  
2, 3, 4 oder 5,  
dadurch gekennzeichnet, dass  
15 - das Leistungshalbleitermodul (1) ein Gehäuse (20, 120)  
aufweist, das im Bereich zwischen den Substratbereichen  
(31, 32) Einwirkungsstellen (35, 36) für eine mechanische  
Druckbeaufschlagung der Verbindungsbereiche hat und  
- das Gehäuse (20, 120) die einzelnen Substratbereiche (3,  
20 4, 5) mit Druck beaufschlagt.
2. Leistungshalbleitermodul nach Anspruch 1,  
dadurch gekennzeichnet, dass  
- die Verbindungsbereiche (31, 32) durch Ausnehmungen in  
25 dem Material des Substrats (2) gebildet sind.
3. Leistungshalbleitermodul nach Anspruch 2,  
dadurch gekennzeichnet, dass  
- die Materialausnehmungen (33, 34) schlitzförmig sind.

4. Leistungshalbleitermodul nach Anspruch 1, 2 oder 3,  
dadurch gekennzeichnet, dass  
- das Substrat (2) eine Keramik ist.

5

5. Leistungshalbleitermodul nach Anspruch 1, 2, 3 oder 4,  
dadurch gekennzeichnet, dass  
- das Gehäuse (20, 120) zumindest in den Bereichen der Sub-  
stratbereiche (3, 4, 5) derart ist, dass es mit einer Fe-  
derkraft auf die Substratbereiche (3, 4, 5) wirkt.

10

